

Thin film arrangement with magnetic field sensitive sensors

Patent Number: DE19652536
Publication date: 1997-06-26
Inventor(s): BERG HUGO VAN DEN DR (DE)
Applicant(s): SIEMENS AG (DE)
Requested Patent: ☐ DE19652536
Application Number: DE19961052536 19961217
Priority Number(s): DE19961052536 19961217; DE19951048098 19951221
IPC Classification: H01L43/08 ; G01R33/09
EC Classification: G01R33/09B, H01L43/08
Equivalents:

Abstract

The thin film construction of a magnetic field sensitive sensor includes a GMR or AMR magnetic layer system. Special reflectors are used to increase the signal value of the sensor. At least one of the reflectors exhibits a dependence on the spin polarisation of the electrons according to the majority or minority electrons of the GMR or AMR magnet layer system. The reflector is made of copper, silver, gold or aluminium. At least one reflector is composed of several layers. An electron scattering layer is arranged on the side of the spin-dependent reflector.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenl gungsschrift
⑩ DE 196 52 536 A 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 L 43/08
G 01 R 33/09

②1 Aktenzeichen: 196 52 536.5
②2 Anmeldetag: 17. 12. 96
④3 Offenlegungstag: 28. 6. 97

DE 196 52 536 A 1

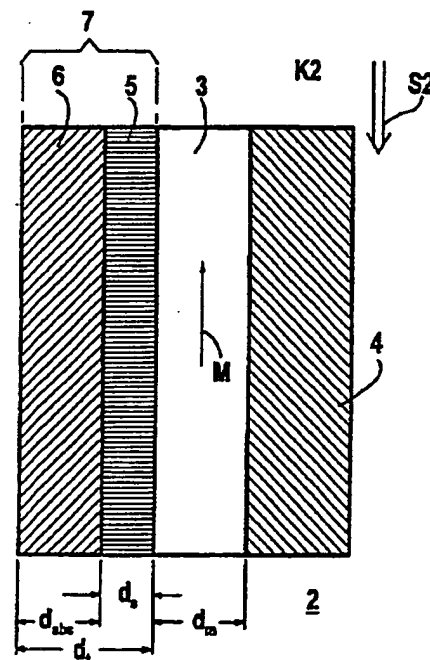
③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1
21.12.95 DE 195480988

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Berg, Hugo van den, Dr., 91074 Herzogenaurach, DE

⑤4 Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors mit einem magnetoresistiven Magnetschichtsystem

⑤7 Der Dünnschichtenaufbau (2) eines magnetfeldempfindlichen Sensors weist ein Magnetschichtsystem (3) auf, das einen magnetoresistiven Effekt aufgrund einer Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen zeigt. Zur Erhöhung der Signalstärke des Magnetschichtsystems (3) soll sich an wenigstens einer Seite dieses Magnetschichtsystems ein Reflektorschichtteil (7) befinden, der bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierend ist. Hierzu kann der Reflektorschichtteil (7) auf seiner von dem Magnetschichtsystem (3) abgewandten Seite eine Elektronenstreuungsschicht (6) aufweisen. Als Materialien zumindest für den reflektierenden Teil (5) des Reflektorschichtteils (7) kommen insbesondere Elemente aus den Gruppen IV bis VIII der Übergangsmetalle und aus den Gruppen Ib, IIb und IIIa des Periodensystems in Frage.



DE 196 52 536 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors mit einem magnet resistiven Magnetschichtsystem, wobei eine Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen gegeben ist.

Ein entsprechender Dünnschichtenaufbau geht aus der WO 94/15223 hervor.

In Schichten aus ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Ni, Fe oder Co und deren Legierungen kann eine Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Größe der Richtung eines das Material durchdringenden Magnetfeldes gegeben sein. Den bei solchen Schichten auftretenden Effekt nennt anisotropen Magnetowiderstand "AMR" oder anisotropen magnetoresistiven Effekt. Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit unterschiedlichem Spin und der Spinpolarität des D-Bandes. Die Elektronen werden deshalb als Majoritäts- bzw. Minoritäts(elektro)nen bezeichnet. Für entsprechende magnetoresistive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magnetisierung in der Schichtebene vorgesehen. Die Widerstandsänderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Stromrichtung kann dann einige Prozent des normalen isotropen (= ohmschen) Widerstandes betragen.

Ferner sind seit einiger Zeit magnetoresistive Mehrschichtensysteme bekannt, welche mehrere, zu einem Stapel angeordnete ferromagnetische Schichten enthalten, die jeweils durch metallische Zwischenschichten voneinander getrennt sind und deren Magnetisierungen jeweils in der Schichtebene liegen. Die Dicken der einzelnen Schichten sind dabei deutlich geringer als die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen gewählt. In solchen in Dünnschichttechnik zu erstellenden Mehrschichtensystemen kann nun zusätzlich zu dem erwähnten anisotropen magnetoresistiven Effekt AMR ein sogenannter giantmagnetoresistiver Effekt oder Giant-Magnetowiderstand "GMR" auftreten (vgl. z. B. EP 0 483 373 A). Ein solcher GMR-Effekt beruht auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und den dazu benachbarten Zwischenschichten sowie auf Streueffekten innerhalb dieser Schichten, insbesondere wenn diese Schichten aus Legierungen bestehen. Der GMR-Effekt ist dabei ein isotroper Effekt. Er kann erheblich größer sein als der anisotrope Effekt AMR und werde bis zu 70% des normalen isotropen Widerstandes annehmen. In entsprechenden, einen GMR-Effekt zeigenden, nachfolgend allgemein als "Magnetschichtsysteme" bezeichneten Mehrschichtensystemen sind benachbarte metallische Schichten zunächst entgegengesetzt magnetisiert, wobei eine Biasschicht bzw. ein Biasschichtteil magnetisch härter als eine Meßschicht ist. Unter Einfluß eines äußeren Magnetfeldes, d. h. einer in der Schichtebene ausgeprägten Komponente dieses Feldes, kann sich dann die anfängliche antiparallele Ausrichtung der Magnetisierung in eine parallele umwandeln. Bei entsprechenden Magnetfeldsensoren wird diese Tatsache ausgenutzt.

Zur Erhöhung der Signalstärke eines entsprechenden GMR-Magnetschichtsystems ist es bekannt, eine sich periodisch wiederholende Schichtenfolge vorzusehen (vgl. z. B. DE 42 32 244 A). Denn die Signalstärke steigt mit der Anzahl der Perioden an gleichen Schichtpaketen asymptotisch bis zu einem Maximalwert monoton an. Die Anzahl der Perioden in einem entsprechenden Dünnschichtenaufbau kann ohne weiteres 100 oder mehr betragen. Die Herstellung eines entsprechenden, aus periodisch wiederkehrenden Magnetschichtsystemen zusammengesetzten Dünnschichtenaufbaus ist jedoch nur mit einem entsprechenden Aufwand durchzuführen.

Ferner ist es auch bekannt, auf die Außenflächen eines dreilagigen GMR-Magnetschichtsystems mit zwei magnetischen Schichten und einer dazwischenliegenden nicht-magnetischen Schicht jeweils eine perfekt reflektierende Schicht aufzubringen, um die Signalstärke zu erhöhen (vgl. "Phys. Rev. B", Vol. 42, No. 13, 1. Nov. 1990, Seiten 8110 bis 8120).

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, den Dünnschichtenaufbau mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, daß eine hohe Signalstärke bei gleichzeitig geringer Anzahl von Dünnschichten zu gewährleisten ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß an wenigstens einer Seite des Magnetschichtsystems ein Reflektorschichtteil angeordnet ist, der bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierend ist, indem dieser Schichtteil mindestens eine die Elektronen in Abhängigkeit von ihrem Spin reflektierende Grenzfläche sowie Bereiche enthält, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von nicht-reflektierten Elektronen erfolgt.

Es wurde nämlich erkannt, daß mit einer derartigen spinpolarisationsabhängigen Reflexion auch mit verhältnismäßig wenigen Schichten ein hoher GMR-Signalpegel zu erreichen ist. Der Vorteil eines entsprechenden Aufbaus ist darin zu sehen, daß man z. B. keine Sputtermodule mit rotierender Palette in eine Produktionskette aufnehmen muß, wo die Verweilzeit verhältnismäßig lang ist. Die Abscheidungszeit für den Schichtenaufbau wird dementsprechend verkürzt, und es ergibt sich eine entsprechende Kostenersparnis. Darüber hinaus ist die Gesamtdicke des Schichtenaufbaus verhältnismäßig gering zu halten, so daß unerwünschte entmagnetisierende Effekte nur eine geringere Rolle spielen. Diese Tatsache führt bei Einsatz des erfindungsgemäßen Schichtenaufbaus bei Winkeldetektoren zu einer entsprechend höheren Isotropie, bei Feldsensoren zu einer höheren Empfindlichkeit und bei Schwellwertdetektoren zu steileren Flanken.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbaus gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend noch weiter anhand von speziellen Ausführungsbeispielen erläutert, wobei auf die Zeichnung Bezug genommen wird. Dabei zeigen die Fig. 1 und 2 schematisch einen Dünnschichtenaufbau mit verschiedenen Reflexionskoeffizienten für Elektronen unterschiedlicher Spinpolarität, die Fig. 3 bis 5 Diagramme mit Kurven von sich aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahmen ergebenden Verbesserungsfaktoren des GMR-Effektes.

die Fig. 6 und 7 bzw. 8 und 9 bzw. 10 und 11 jeweils schematisch in den Fig. 1 und 2 entsprechender Darstellung einen weiteren Dünnschichtenaufbau mit verschiedener Reflektion für Elektronen unterschiedlicher Spinpolarität, die Fig. 12 und 13 schematisch zwei Ausbildungsmöglichkeiten eines Dünnschichtenaufbaus mit einem als künstlicher Antiferromagnet wirkenden Schichtensystem, die Fig. 14 bis 16 Diagramme mit Kurven von Zustandsdichten von Elektronen unterschiedliche Spinpolarität für verschiedene Materialien sowie Fig. 17 schematisch eine Ausbildungsmöglichkeit einer Elektronenstreuungsschicht eines Dünnschichtenaufbaus.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Die Wirkung einer spinabhängigen (polarisationsabhängigen) Reflektion bei einem erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbau sei nachfolgend anhand der Fig. 1 und 2 verdeutlicht. In diesen Figuren sind der Dünnschichtenaufbau allgemein mit 2, ein einen magnetoresistiven Effekt wie z. B. einen GMR-Effekt zeigendes, an sich bekanntes Magnetschichtensystem mit 3 und ein spinunabhängiger Reflektorschichtteil des Dünnschichtenaufbaus mit 4 bezeichnet. Ein nachfolgend allgemein als Spinreflektor bezeichneter, spinabhängig reflektierender Schichtteil des Dünnschichtenaufbaus enthält wenigstens eine Schicht, die zu einer Diskriminierung der Majoritätselektronen von den Minoritätselektronen mindestens eine Grenzfläche aufweist, an der Elektronen von einem der beiden Typen reflektiert werden. Außerdem sind in dem Spinreflektor Bereiche vorhanden, in denen die in den Spinreflektor eingetretenen, nicht-reflektierten Elektronen zumindest weitgehend diffus gestreut werden. Die Funktion der spinabhängigen Reflexion und der Streuung eines erfindungsgemäß gestalteten Spinreflektors kann jeweils auch wenigstens zu einem überwiegenden Teil von getrennten Schichten ausgeübt werden. Dementsprechend enthält der den Fig. 1 und 2 zugrundegelegte Dünnschichtenaufbau 2 eine spinabhängig reflektierende Reflektorschicht 5 und eine Elektronenstreuungsschicht 6 eines Spinreflektors 7. Außerdem sind mit M die Magnetisierung des Magnetschichtensystems 3, mit d_m dessen Dicke, mit d_5 die Dicke der Reflektorschicht 5, mit d_{6s} die Dicke der Elektronenstreuungsschicht 6, mit K1 ein erster Spinkanal (Fig. 1) für Elektronen einer ersten Spinrichtung S1 sowie mit K2 ein zweiter Spinkanal (Fig. 2) für die Elektronen mit zu S1 entgegengesetzter Spinrichtung S2 bezeichnet. Ferner gilt für die Gesamtdicke d_7 des Spinreflektors bzw. Reflektorschichtteils 7 aus Reflektorschicht 5 und Elektronenstreuungsschicht 6: $d_7 = d_5 + d_{6s}$. Dabei kann jede in den Figuren dargestellte Schicht im Prinzip aus einer beliebigen Anzahl von aufeinander gestapelten Schichten bestehen. Die Schichtdicke d_5 der Reflektorschicht 5 liegt vorzugsweise zwischen 0,15 und 1 nm.

Wie aus den Fig. 1 und 2 hervorgeht, ist das Magnetschichtensystem 3 an einer Flachseite von dem perfekten, spinunabhängigen Reflektorschichtteil 4 und an der gegenüberliegenden Seite von dem aus Reflektorschicht 5 und Elektronenstreuungsschicht 6 zusammengesetzten Spinreflektor 7 abgedeckt. Dabei wird berücksichtigt, daß die Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätsladungsträgern (Majoritäts- bzw. Minoritätselektronen) in magnetischen Schichten der grundlegende Mechanismus für den GMR-Effekt ist. Diese Spinabhängigkeit, die für den GMR-Effekt charakteristisch ist, wird in bekannter Weise durch eine Größe α , definiert durch das Verhältnis ρ^-/ρ^+ , zum Ausdruck gebracht (vgl. z. B. das Buch "Ferromagnetic Materials", Vol. 3, Ed.: E. P. Wohlfarth, North-Holland Publ. Co., Amsterdam u. a., 1982, Seiten 747 bis 804, insbesondere Seiten 758 bis 762). Dabei sind ρ^- und ρ^+ die spezifischen Widerstände von Minoritäts- bzw. Majoritätselektronen. Es sei angenommen, daß $\alpha > 1$ ist; d. h. die Minoritätselektronen haben dann den höchsten spezifischen Bulkwiderstand. Auch Grenzflächenstreuungen können zu einem effektiven α_{eff} beitragen oder dieses bestimmen. In den Fig. 1 und 2 sind zwei Spinkanäle K1 und K2 definiert, wobei Kanal K1 den Majoritätselektronen bei der in den Figuren gezeigten Magnetisierung M zugeordnet ist. Im Idealfall werden an dem Spinreflektor 7 die Elektronen von Kanal K1 vollständig reflektiert und von Kanal K2 ungehindert durchgelassen. Bei dem den Fig. 1 und 2 zugrundegelegten Ausführungsbeispiel eines Spinreflektors 7 ist an dessen Reflektorschicht 5 an der dem Magnetschichtensystem 3 abgewandten Flachseite eine hochresistive Schicht angeordnet, die in den Figuren als Elektronenstreuungsschicht 6 bezeichnet ist. Die Elektronenstreuung braucht dabei nicht notwendigerweise spinabhängig zu sein. Wenigstens in dieser Elektronenstreuungsschicht sind die den Spinreflektor kennzeichnenden Bereiche vorhanden, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von Elektronen erfolgt, die nicht von der Reflektorschicht 5 reflektiert wurden. Die Elektronenstreuungsschicht 6 kann z. B. aus einer nicht-magnetischen Metallschicht bestehen, die zur Erhöhung der Resistivität mit weiteren Elementen legiert worden ist. Die entsprechende Legierungsschicht kann dabei zur weiteren Erhöhung der Resistivität auch amorphisiert werden. Die Reflektorschicht 5 des spinabhängigen Reflektorschichtteils sowie dessen Elektronenstreuungsschicht 6 können im Prinzip auch mit einer einzelnen Schicht realisiert werden, indem man z. B. eine diffuse Streuung an Streuzentren ausnutzt, die an einer beliebigen Stelle der Schicht vorhanden sein können.

Das den erfindungsgemäßen Maßnahmen zugrundeliegenden Prinzips wird nachfolgend noch näher erläutert, wobei die folgenden Bezeichnungen gewählt sind, und zwar

- " ρ " für den spezifischen Widerstand,
- "R" für den Quadratwiderstand,
- " ρ_s " für die Streuzentrensdichte,
- "P" für die Flächenstreuenzentrensdichte und
- "d" für die Schichtdicke.

Dabei bedeuten die tiefergestellten Indizes an den jeweiligen Größen, daß diese sich auf die folgenden Teile eines Dünnschichtenaufbaus beziehen sollen, nämlich

- "1" auf den Spinkanal K1,
- "2" auf den Spinkanal K2,
- "m" auf eine Meßschicht des Magnetschichtensystems,

"s" auf die Reflektorschicht des Spinreflektors,
 "abs" auf die Elektronenstreuungsschicht des Spinreflektors,
 "r" auf das Schichtensystem des gesamten Spinreflektors,
 "b" auf eine Biasschicht des Magnetschichtsystems
 und

"e" auf eine Entkopplungsschicht des Magnetschichtsystems. Sich auf die Minoritätselektronen und auf die Majoritätselektronen beziehende Größen sind durch ein hochgestelltes "-" bzw. "+" -Zeichen gekennzeichnet.

Es sei zunächst angenommen, daß die Elektronenstreuungsschicht 6 und die Reflektorschicht 5 sehr dünn ausgebildet sind und diese Teile eine Oberflächenstreuungsdichte P_{abs} haben. Weiter sei der Reflektor 4 elektrisch isolierend. Die Bulkresistivität der Majoritätselektronen in dem Magnetschichtsystem 3 ist proportional zur Streuzentrensdichte p^+ und $\rho^+ = C^+ p^+$. Ein allgemein durch den Quotienten ρ/d definierter Quadratwiderstand, der im Fall von Spinkanal K1 mit R_1 bezeichnet ist, ergibt sich bei einer Parallelschaltung von Elektronenstreuungsschicht und Magnetschichtsystem und ist für diesen einfachen Fall:

$$R_1 = C^+ p^+ / d_m = \rho^+ / d_m \quad (1)$$

Für Spinkanal K2 gilt:

$$R_2 = C^-(d_m p^- + P_{abs}) / d_m = (\rho^- + C^- P_{abs} / d_m) / d_m \quad (2)$$

Die effektive Größe $\alpha_{eff} = R_2 / R_1$ von diesem System ist dann:

$$\alpha_{eff} = \alpha + C^- P_{abs} / (\rho^+ d_m) = \alpha (1 + C^- P_{abs} / (\rho^- d_m)) \quad (3)$$

und nimmt um einen Faktor $1 + C^- P_{abs} / (\rho^- d_m) > 1$ zu. Bei kleiner Dicke des Magnetschichtsystems ist ein deutlicher Gewinn zu erzielen.

Im allgemeinen sind d_s und d_{abs} nicht gleich null. Setzen wir alle C 's gleich und d_s null, dann müssen die obenstehenden Ausdrücke (1) und (2) durch die nachstehenden ersetzt werden:

$$R_1 = \frac{\rho^+ / d_m}{1 + \frac{\rho^+ d_t}{|\rho| d_m}}$$

35

$$R_2 = \rho^- / d_m + \left(\frac{(|\rho| - \rho^-)}{d_m + d_t} - \frac{\rho^-}{d_m} \right) \frac{d_t}{d_m + d_t}$$

40

Bei einem kleinem d_t und einem endlichem Produkt $d_t \cdot |\rho|$ ergeben sich wieder Gleichungen (1) und (2). Nimmt man $d_t \cdot |\rho|$ als konstant an, dann klingt R_2 mit wachsendem d_t ab, d. h. α_{eff} nimmt ab. Für sehr großes d_t ist die Näherung für R_2 nicht gültig.

Aus den beiden obenstehenden Gleichungen ergibt sich der folgende Verbesserungsfaktor G_α für α :

$$G_\alpha = \left(1 + \frac{d_t / d_m}{|\rho| \rho^+} \right)^*$$

50

$$\left(1 + \left(\frac{|\rho| \rho^+}{\alpha} - 2 - d_t / d_m \right) \frac{d_t / d_m}{(1 + d_t / d_m)^2} \right)$$

55

(* = Multiplikationszeichen)

60

Dieser Faktor G_α ist in den drei Diagrammen der Fig. 3 bis 5 für $\alpha = 2$ bzw. $\alpha = 4$ bzw. $\alpha = 8$ jeweils durch Kurven für verschiedene Werte von $|\rho|/\rho^+$ hervor. Dabei sind in Ordinate Richtung der Faktor G_α und in Abszissenrichtung das Verhältnis d_t/d_m aufgetragen. $|\rho|$ ist dabei der absolute spezifische Widerstand.

Wie aus den Fig. 3 bis 5 zu ersehen ist, ergeben sich besonders hohe Verbesserungen für die Dickenverhältnisse d_t/d_m bei einem Wert von ≈ 1 .

Nachfolgend werden noch einige Spinreflektoren für spezielle Magnetschichtsysteme erläutert.

I. Spinreflektoren in Magnetschichtsystemen mit magnetisch harten und weichen Schichten gemäß den Fig. 6 und 7

Das in den Figuren gezeigte, an sich bekannte Magnetschichtsystem 13 eines Dünnschichtenaufbaus 12 setzt sich aus einer magnetisch weichen Meßschicht 14 (oder einem Meßschichtensystem), einer magnetisch härteren Biasschicht 15 (oder einem Biasschichtensystem) sowie einer dazwischenliegenden Entkopplungsschicht 16 im einfachsten Fall zusammen. An das Magnetschichtensystem 13 ist an der Seite der hart-magnetischen Biasschicht 15 ein Spinreflektor 7 mit einer Reflektorschicht 5 und einer Streuschicht 6 angefügt. Während nach Fig. 6 dieser Spinreflektor 7 für die Majoritätselektronen der Biasschicht, d. h. für Spinkanal K1 reflektierend ist, ist dieser Reflektor nach Fig. 7 für die Minoritätselektronen transparent (Spinkanal K2).

Auf der gegenüberliegenden Seite des Magnetschichtsystems 13 kann ein nicht-spinabhängiger Reflektor 4 angebracht sein. Es sei angenommen, daß das α der Biasschicht 15 größer eins ist. Nach dem vorigen Abschnitt sollten dann nur die Minoritätselektronen von der Reflektorschicht 5 durchgelassen werden. Es wurde gezeigt, daß das effektive α_{eff} , wenn $|\rho| \cdot d_t$ groß verglichen zum $\rho^- \cdot d_b$ ist, zu einem höheren Sensorsignal führt.

Unter den gleichen Voraussetzungen wie bei den Gleichungen (1) bis (3) ergibt sich für den elektrischen Quadratwiderstand $R^{\uparrow\uparrow}$ bei parallelen Magnetisierungen von Meß- und Biasschicht und bei gleichen C 's für alle Schichten:

$$R_1^{\uparrow\uparrow} = \frac{d_b \rho_b^+ + d_e \rho_e + d_m \rho_m^+}{d_b + d_e + d_m} \frac{C}{d_b + d_e + d_m} = \frac{P_b^+ + P_e + P_m^+}{d_b + d_e + d_m} \frac{C}{d_b + d_e + d_m} \quad (20)$$

$$R_2^{\uparrow\uparrow} = \frac{P_b^- + P_e + P_m^- + P_{\text{abs}}}{d_b + d_e + d_m} \frac{C}{d_b + d_e + d_m} \quad (4) \quad (25)$$

$$R^{\uparrow\uparrow} = \frac{(\alpha P_b^+ + P_e + \alpha P_m^+ + P_{\text{abs}})(P_b^+ + P_e + P_m^+)}{(\alpha + 1)P_b^+ + (\alpha + 1)P_m^+ + 2P_e + P_{\text{abs}}} \frac{C}{(d_b + d_e + d_m)^2} \quad (30)$$

Die α 's der Meß- und Biasschicht sind gleich gewählt worden.

Für die Situation mit entgegengesetzten Magnetisierungen von Bias- und Meßschicht gelten ähnliche Ausdrücke für die Quadratwiderstände $R^{\uparrow\downarrow}$:

$$R_1^{\uparrow\downarrow} = \frac{P_b^+ + P_e + \alpha P_m^+}{d_b + d_e + d_m} \frac{C}{d_b + d_e + d_m} \quad (40)$$

$$R_2^{\uparrow\downarrow} = \frac{\alpha P_b^+ + P_e + P_m^+ + P_{\text{abs}}}{d_b + d_e + d_m} \frac{C}{d_b + d_e + d_m} \quad (6) \quad (45)$$

$$R^{\uparrow\downarrow} = \frac{(\alpha P_b^+ + P_e + P_m^+ + P_{\text{abs}})(P_b^+ + P_e + \alpha P_m^+)}{(\alpha + 1)P_b^+ + (\alpha + 1)P_m^+ + 2P_e + P_{\text{abs}}} \frac{C}{(d_b + d_e + d_m)^2} \quad (50)$$

Der differentielle Quadratwiderstand $\Delta R = R^{\uparrow\downarrow} - R^{\uparrow\uparrow}$ und der GMR sind dann:

$$\Delta R = \frac{(\alpha - 1)P_m^+((\alpha - 1)P_b^+ + P_{\text{abs}})}{(\alpha + 1)P_b^+ + (\alpha + 1)P_m^+ + 2P_e + P_{\text{abs}}} \frac{C}{(d_b + d_e + d_m)^2} \quad (55)$$

$$\text{GMR} = \Delta R / R^{\uparrow\uparrow} = \frac{(\alpha - 1)P_m^+((\alpha - 1)P_b^+ + P_{\text{abs}})}{(\alpha P_b^+ + P_e + \alpha P_m^+ + P_{\text{abs}})(P_b^+ + P_e + P_m^+)} \quad (7) \quad (60)$$

Zur Beurteilung des Gleichungssystems (7) werden zwei einfache Fälle näher betrachtet:
Fall 1: $P_b^+ = P_m^+ = P_e = P$

$$\Delta R = \frac{(\alpha-1)^2 P}{2(2+\alpha)} \frac{C}{(d_b + d_e + d_m)^2} \frac{1 + P_{abs} / (P(\alpha-1))}{1 + P_{abs} / (P2(2+a))} \quad (8a)$$

$$GMR = \Delta R / R^{\uparrow\uparrow} = \frac{(\alpha-1)^2}{3\alpha(2+1/\alpha)} \frac{1 + P_{abs} / P}{1 + P_{abs} / (P(1+2\alpha))} \quad (8b)$$

Die Ausdrücke bei den rechten Bruchstrichen geben die Korrektur verglichen zum Zustand mit einfachen Reflektoren an beiden Seiten. Da α in dem jetzigen Fall größer 1 ist, folgt für den Korrekturfaktor, daß dieser immer größer eins ist; d. h. es ergibt sich immer eine Signalerhöhung. Bei richtiger Wahl der Materialien und Dicken kann die Signalerhöhung erheblich sein.

Fall 2: $P_b^+ = P_e = 0, P_m^+ = P$

$$\Delta R = \frac{(\alpha-1)P_{abs}}{\alpha+1+P_{abs}/P} \frac{C}{(d_b + d_e + d_m)^2} \quad (9a)$$

$$GMR = \Delta R / R^{\uparrow\uparrow} = \frac{(\alpha-1)P_{abs}/P}{\alpha + P_{abs}/P} \quad (9b)$$

Interessanterweise tritt in diesem Fall erst ein Signal auf, wenn der Spinreflektor mit seiner Elektronenstreuungsschicht vorhanden ist.

II. Spinreflektor an der Meßschicht eines Magnetschichtsystems gemäß den Fig. 8 und 9

Gegenüber der Ausführungsform nach den Fig. 6 und 7 sind bei der in den Fig. 8 und 9 dargestellten Ausführungsform eines Dünnschichtenaufbaus 20 die Positionen des Spinreflektors 7 und die des spinunabhängigen Reflektors 4 vertauscht. Bei der gezeigten Ausführungsform vergrößert nunmehr der Spinreflektor das effektive α der Meßschicht 14.

Auf gleiche Weise wie für die Ausführungsform nach den Fig. 6 und 7 lassen sich unter gleichen Bedingungen zu Gleichungssystem (7) äquivalente Ausdrücke ableiten:

$$\Delta R = \frac{(\alpha-1)P_b^+}{(\alpha+1)P_b^+ + (\alpha+1)P_m^+ + 2P_e + P_{abs}} \frac{((\alpha-1)P_m^+ + P_{abs})}{(d_b + d_e + d_m)^2} \frac{C}{(d_b + d_e + d_m)^2}$$

$$GMR = \Delta R / R^{\uparrow\uparrow} = \frac{(\alpha-1)P_b^+}{(\alpha P_b^+ + P_e + \alpha P_m^+ + P_{abs})} \frac{((\alpha-1)P_m^+ + P_{abs})}{(P_b^+ + P_e + P_m^+)} \quad (10)$$

Die Gleichungssysteme (7) und (10) sind im Prinzip gleich, und man braucht nur P_b^+ und P_m^+ zu vertauschen. Für die Sonderfälle (8) und (9) sind die Gleichungen sogar identisch, wenn im Fall 2 P_m statt P_b null gesetzt wird.

III. Spinreflektoren an einem Magnetschichtsystem mit künstlichem Antiferromagneten gemäß den Fig. 10 bis 13

Bei der in den Fig. 10 und 11 wiedergegebenen Ausführungsform eines Dünnschichtenaufbaus 22 weist deren Magnetschichtsystem 23 ein als künstlicher Antiferromagnet wirkendes Schichtensystem 24 auf (vgl. die eingangs genannte WO-Schrift). Das Schichtensystem 24 enthält deshalb mindestens eine Biasschicht 25, eine nicht-magnetische Kopplungsschicht 26 sowie eine zweite magnetische Schicht 27 mit gegenüber der Biasschicht entgegengesetzter Magnetisierung. Bei der gezeigten Ausführungsform sind zwei Spinreflektoren 30 bzw. 31 auf beiden Seiten des Magnetschichtsystems 23 vorgesehen, die auf der dem Magnetschichtsystem abgewandten Seite ihrer Reflektorschichten 30a bzw. 31a jeweils eine Elektronenstreuungsschicht 30b bzw. 31b enthalten. Es sei angenommen, daß die Meßschicht 14 und die Biasschicht 25 jeweils eine Größe α von > 1 haben. Die zweite Magnetschicht 27 des Schichtensystems 24 soll vorzugsweise eine Größe $\alpha < 1$ oder höchstens ≈ 1 haben. Die Reflektorschichten 30a und 31a müssen die Elektronen mit Spin vom Kanal K1 reflektieren und diejenigen vom Spinkanal K2 durchlassen, wenn die Magnetisierungen der Bias- und Meßschicht parallel sind. Dieser Fall ist den Fig. 10 und 11 zugrundegelegt. Die Wirkung des Spinreflektors 31 an dem als künstlicher Antiferromagnet wirkenden Schichtensystem 24 läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

An der äußersten Schicht werden in diesem Fall die Minoritätselektronen reflektiert. Gleichung (3) läßt sich dann ersetzen durch

$$\alpha_{\text{eff}} = \alpha / (1 + C + P_{\text{abs}} / (\rho + d_m)) \quad (11)$$

Aus der Gleichung ist erkennbar, daß die Änderung der Größe α die richtige Tendenz aufweist; d. h., der Betrag von α wird niedriger. Es ist sogar möglich, einen Wert α von > 1 in einen Wert des effektiven $\alpha_{\text{eff}} < 1$ umzuwandeln, d. h. einen erwünschten inversen GMR-Effekt hervorzurufen.

In dem als künstlicher Antiferromagnet wirkenden Schichtensystem 24 ist die zweite Magnetschicht 27 zur Signalerzeugung nicht unbedingt erforderlich, d. h., diese Schicht kann gegebenenfalls aus dem Signalweg isoliert werden. D. h., Elektronen aus der Meßschicht oder Biasschicht können dann die Schicht 27 nicht erreichen. Die Fig. 12 und 13 zeigen entsprechende Ausführungsformen eines Dünnschichtenaufbaus 32 bzw. 35. Man wählt deshalb einen spinabhängigen Reflektor 33 (vgl. Fig. 12) oder 34 (vgl. Fig. 13) an einer der beiden Seiten der Kopplungsschicht 26, welche die Kopplung nicht zerstören sollte. Eine Möglichkeit hierzu ist, eine Kopplungsschicht-Magnetschicht-Kombination zu wählen, die sowohl für die Minoritätselektronen wie auch für die Majoritätselektronen einen großen Potentialsprung aufweist. Dabei sollten jedoch die beiden Potentialsprünge für die beiden Spintypen unterschiedlich groß sein. Mögliche Schichtkombinationen 27–26 sind beispielsweise Co und Rh oder Co und Ir. Ferner ist es auch möglich, die Magnetschicht 27 zu legieren, um so auf diese Weise ihre Bandstruktur zu modifizieren. Z. B. kann durch eine solche Legierung das Fermi-Niveau bezüglich des d-Bandes verschoben werden. Ein entsprechendes konkretes Ausführungsbeispiel wäre Fe mit V zu legieren.

IV. Materialwahl für den Spinreflektor

Die Wahl des Materials zumindest für die Reflektorschicht eines Spinreflektors hängt davon ab, ob entweder Majoritäts- oder Minoritätselektronen reflektiert werden sollen. Im Prinzip möchte man an der Reflektorschicht die Elektronen des anderen Spintyps vollständig durchlassen. Hierbei spielt vor allem die Übereinstimmung zwischen den d-Bändern der beiden Materialien eine entscheidende Rolle. Anhand der Fig. 14 bis 16 sind die drei wesentlichsten Fälle von d-Bandstrukturen angedeutet. Dabei wurde eine bekannte Darstellung der d-Bandstrukturen in Form von Diagrammen unter Zugrundelegung bekannter Parameter gewählt (vgl. z. B. das Buch "Handbook of the band structure of elemental solids" von D. A. Papaconstantopoulos, Plenum Press, New York u. a., 1986, insbesondere Seiten 73 bis 126). In den Diagrammen sind jeweils in Ordinateenrichtung das Energieniveau E der Elektronen und in Abszissenrichtung die Zustandsdichten Z_m und Z_{ma} aufgetragen. Das Fermi-Niveau ist jeweils mit E_F bezeichnet. Fig. 14 zeigt die typische asymmetrische d-Bandstruktur von den ferromagnetischen Elementen Ni und Co. Die Zustandsdichten der Majoritätselektronen M_a und der Minoritätselektronen M_i sind mit Z_{ma} bzw. Z_{mi} gekennzeichnet. Aus den Fig. 15 und 16 sind die d-Bandstrukturen der Elemente veranschaulicht, die gegenüber den ferromagnetischen Elementen Ni und Co eine kleinere Ordnungszahl im Periodensystem (Fig. 15) bzw. eine größere Ordnungszahl im Periodensystem (Fig. 16) aufweisen. Möchte man Minoritätselektronen M_i reflektieren, dann kämen nach Fig. 16 vor allem Elemente in Frage, die rechts von dem magnetischen Element in dem periodischen System angesiedelt sind. Im Falle von Co wäre beispielsweise Cu geeignet. Bei einer gewünschten Reflexion von Majoritätselektronen M_a sind es die Elemente links vom magnetischen Element im Periodensystem, die die geeignete 3d-Bandstruktur aufweisen. Beispielsweise sind Mn, Cr oder V geeignete Reflektormaterialien.

Es wurde erkannt, daß generell zu einer Reflexion von Minoritätselektronen zumindest für die Reflektorschicht eines Spinreflektors vorteilhaft ein Material gewählt wird, das zumindest als Hauptbestandteil (zu mehr als 50 Atom-%) ein Element aus einer bestimmten Gruppe der Elemente des Periodensystems enthält, die im Periodensystem rechts von der Gruppe der ferromagnetischen Übergangsmetalle des Materials der benachbarten Magnetschicht liegt. Und zwar sind das die Elemente aus den – soweit vorhandenen – benachbarten Gruppen VIIb der Übergangsmetalle oder aus einer der Gruppen Ib, IIb oder IIIa (gemäß der Darstellung in dem Buch "Anorganische Chemie" von E. Riedel, Verlag W. de Gruyter, Berlin u. a., 1988, letzte Doppelseite). Als besonders geeignet sind die Elemente Cu, Ag, Au oder Al anzusehen. Wenn z. B. Fe das ferromagnetische Material der Magnetschicht ist, kommen darüber hinaus auch noch nicht-ferromagnetische Elemente aus der Co- und Ni-Gruppe wie z. B. Rh bzw. Pd in Frage. Sollen demgegenüber Majoritätselektronen spinabhängig reflektiert werden, so wird für die Reflektorschicht vorteilhaft ein Material aus einer der Gruppen IV bis VIII der Übergangsmetalle gewählt, wobei die jeweilige Gruppe immer links von der Gruppe der benachbarten Magnetschicht liegen soll. Vorzugsweise wird eines der Elemente Mn, Cr, V oder Ti vorgesehen. Besteht die Magnetschicht z. B. aus Ni, so kommen auch noch nicht-ferromagnetische Elemente aus der Co- und Fe-Gruppe wie z. B. Rh bzw. Ru in Frage.

Die Reflektorschichten von Spinreflektoren brauchen im Grunde nur so dick zu sein, daß sie die magnetischen Schichten des Magnetschichtsystems vollständig bedecken. Diese Forderung ist zu erfüllen, wenn sie dicker als 0,15 nm sind. Darüber hinaus sollen diese nicht zum GMR-Signal beitragenden Schichten möglichst dünn sein. Schichtdicken über 1 nm sind deshalb im allgemeinen weniger geeignet. Wird die Streufunktion auch von dieser Schicht übernommen, dann gilt noch zusätzlich die Überlegung, daß das Produkt $|\rho| \cdot d$ genügend hoch sein muß.

Weitere Materialsysteme, die für spinabhängig reflektierende Reflektoren in Frage kommen, sind spezielle Halbmetalle mit magnetischen Eigenschaften. Ein entsprechendes Beispiel sind die sogenannten Heusler-Legierungen, die Legierungen auf Basis des Stoffsystems Mn-Al darstellen. Ferner sind auch Perowskite geeignet, die halbleitende Eigenschaften für nur einen der Spinkanäle aufweisen. Vom Spinkanal mit den halbleitenden Eigenschaften werden die Elektronen reflektiert, während die Elektronen mit vorbestimmter Spinpolarität von dem anderen Kanal weitgehend durchgelassen werden. D. h., für diesen (anderen) Spinkanal ist das Material

elektrisch leitend. Im Prinzip gibt es Bereiche mit unterschiedlicher Orientierung der magnetischen Momente. Zur einheitlichen Ausrichtung dieser Bereiche sollte das magnetische Halbmetall Perowskit austauschgekoppelt werden mit einer Schicht oder mit einem Schichtsystem mit uniformer Magnetisierung und hartmagnetischen Eigenschaften. CoPt, CoFeTb und künstliche antiferromagnetische Systeme sind deshalb geeignet. Aus diesem Grunde werden die magnetischen Halbmetalle vorzugsweise als Spinreflektoren für hartmagnetische Subsysteme vorgesehen.

V. Materialwahl für die Elektronenstreuerschicht

Die Elektronenstreuerschicht braucht nicht spinselektiv sein, so daß die Wahlfreiheit für das Material verhältnismäßig groß ist. So kann man insbesondere die Reflektorschicht des Spinreflektors ab einem gewissen Abstand zur Magnetschicht legieren, um so eine hohe Streuzentrendichte zu erhalten. Fig. 17 zeigt einen entsprechenden Aufbau. Dementsprechend ist an einem Magnetschichtsystem 40 ein Spinreflektor 41 angeordnet, der einen unlegierten Teil 41a auf seiner dem Magnetschichtsystem 40 zugewandten Seite und einen legierten Teil 41b auf der davon abgewandten Seite umfaßt. Mit einer entsprechenden Legierungstechnik lassen sich hochspezifische Widerstände realisieren, die größer $100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ sind. Hierzu können die Spinreflektormetalle insbesondere mit Seltenen Erdmetallen legiert werden, wobei häufig amorphe Phasen auftreten. Man kann die Fremdatomdichte stetig ansteigen lassen, um so die Reflektion von diesem Teil 41b zu verringern. Eine weitere Möglichkeit ist, einen Schichtstapel mit vielen Grenzflächen vorzusehen, an denen die Elektronen streuen können. Aus den Diagrammen der Fig. 2 bis 5 geht hervor, daß die optimale Streuwirkung erzielt wird, wenn die Dicken der Magnetschicht d_m und d_r ungefähr gleich groß sind.

Gemäß den vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen wurde davon ausgegangen, daß es sich bei dem Magnetschichtsystem eines erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbaus um ein System handelt, das einen erhöhten magnetoresistiven Effekt GMR zeigt. Ein erfindungsgemäßer Dünnschichtenaufbau ist jedoch auf ein derartiges Magnetschichtsystem nicht beschränkt. Da nämlich auch ein anisotroper Magnetowiderstand AMR physikalisch auf unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit unterschiedlichem Spin beruht, kann der Dünnschichtenaufbau als Magnetschichtsystem auch eine entsprechende Schicht oder ein Schichtensystem aufweisen. An wenigstens einer Seite einer solchen AMR-Schicht oder eines entsprechenden Schichtsystems ist dann der bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierende Reflektor vorzusehen.

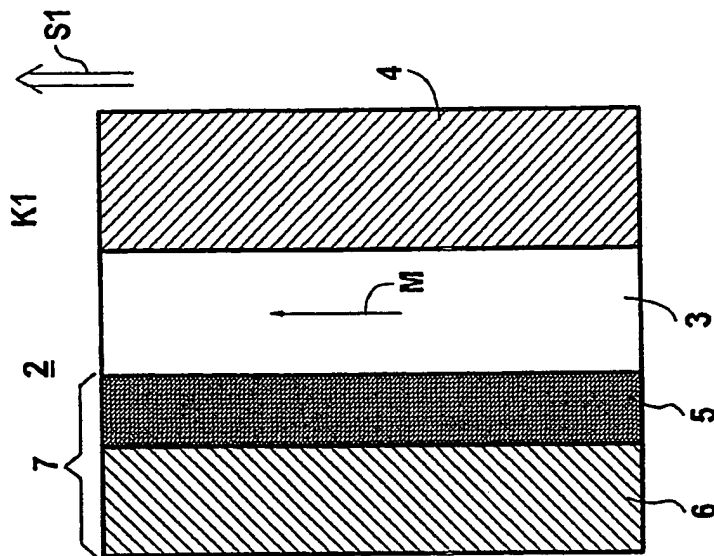
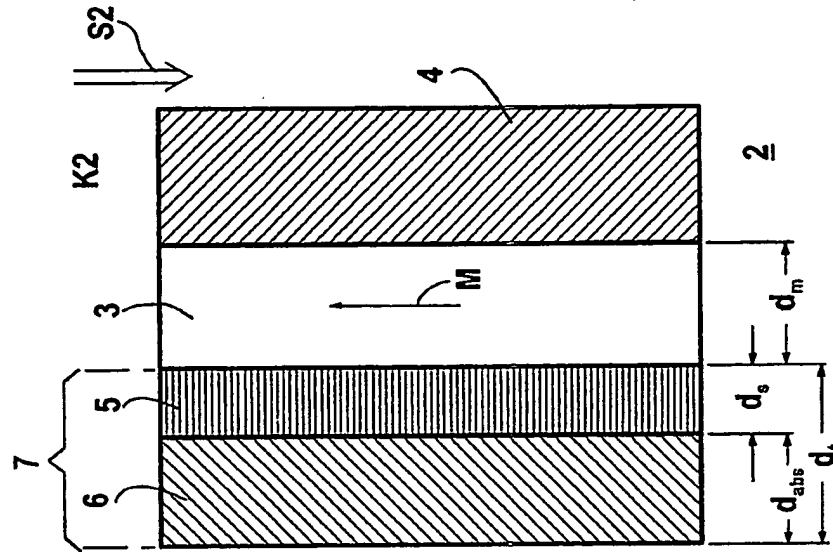
Darüber hinaus ist es auch vorteilhaft möglich, daß der spinabhängig reflektierende Reflektor eines Dünnschichtenaufbaus nach der Erfindung zugleich als Substrat dient oder eine auf einem Substrat abgeschiedene Schicht ist und auf dem so ausgebildeten Unterbau dann das GMR- oder AMR-Magnetschichtsystem abgeschieden wird.

Patentansprüche

1. Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors mit einem magnetoresistiven Magnetschichtsystem, wobei eine Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen gegeben ist, dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einer Seite des Magnetschichtsystems (3, 13, 23, 40) ein bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierender Reflektorschichtteil (7, 30, 31; 33, 34; 41) angeordnet ist, welcher mindestens eine die Elektronen in Abhängigkeit von ihrem Spin (S_1 , S_2) reflektierende Grenzfläche (Schicht 5) sowie Bereiche (Schicht 6) enthält, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von nicht-reflektierten Elektronen erfolgt.
2. Aufbau nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetschichtsystem (3, 13, 23, 40) zwischen zwei Reflektorschichtteilen (4, 7; 30, 31; 33, 34; 41) mit elektronenreflektierenden Eigenschaften angeordnet ist, wobei wenigstens einer der Reflektorschichtteile (7; 30, 31; 33, 34; 41) bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierend ist.
3. Aufbau nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der wenigstens eine Reflektorschichtteil (7) aus mehreren Schichten (5, 6) zusammengesetzt ist.
4. Aufbau nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil (7, 30, 31, 33, 34) eine im wesentlichen die mindestens eine Grenzfläche enthaltende reflektierende Schicht (5, 30a, 31a) und eine im wesentlichen die Streubereiche enthaltende Schicht (6, 30b, 31b) aufweist.
5. Aufbau nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil (7, 30, 31) an seiner von dem Magnetschichtsystem (3, 13, 23, 40) abgewandten Seite wenigstens eine Elektronenstreuerschicht (6; 30b, 31b) aufweist ist.
6. Aufbau nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine von dem Magnetschichtsystem (40) abgewandte Schichtzone (41b) des spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteils (41) als Elektronenstreuerschicht ausgebildet ist.
7. Aufbau nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenstreuerschicht (41b) durch Zulegierung mindestens eines weiteren Elementes zu dem Material des Reflektorschichtteils (41) ausgebildet ist.
8. Aufbau nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil durch ein einzige Schicht gebildet ist.
9. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zu einer Reflexion von Minoritätselektronen für den spinabhängig reflektierend n Reflektorschichtteil zumindest als Hauptbestandteil wenigstens seines reflektierenden Teils ein Material aus einem nichtferromagnetischen Element aus einer Gruppe des Periodensystems der Elemente gewählt ist, die eine, soweit vorhanden, im Periodensystem rechts von der Gruppe des ferromagnetischen Materials der benachbarten Schicht des Magnetschichtsystems liegende Gruppe VIII der Übergangsmetalle oder eine der Gruppe Ib, IIb oder IIIa ist.

10. Aufbau nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch ein Material des spinabhängig reflektierenden Teils aus der Gruppe der Elemente Cu, Ag, Au, Al.
11. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zu einer Reflexion von Majoritätselektronen für den spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteil zumindest als Hauptbestandteil wenigstens seines reflektierenden Teils ein Material aus einem nichtferromagnetischem Element aus einer Gruppe des Periodensystems der Elemente gewählt ist, die eine im Periodensystem links von der Gruppe des ferromagnetischen Materials der benachbarten Schicht des Magnetschichtsystems liegende Gruppe IV bis VIII der Übergangsmetalle ist. 5
12. Aufbau nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch Mn oder Cr oder V oder Ti als Material des spinabhängig reflektierenden Teils. 10
13. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens für den reflektierenden Teil des spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteils als Material ein Halbmetall gewählt ist.
14. Aufbau nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß für den spinabhängig reflektierenden Teil ein Material mit Perowskit-Kristallstruktur gewählt ist, das halbleitende Eigenschaften nur für die Majoritätselektronen oder nur für die Minoritätselektronen aufweist, während es für Elektronen des jeweils anderen Typs elektrisch leitend ist. 15
15. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens der reflektierende Teil des spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteils aus einer Heuslerschen Mn-Al-Legierung besteht.
16. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 15, gekennzeichnet durch eine einen erhöhten magnetoresistiven Effekt zeigendes Magnetschichtsystem (3, 13, 23, 40). 20
17. Aufbau nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetschichtsystem (13) zumindest eine Meßschicht (14), eine Biasschicht (15) und eine zwischen diesen Schichten (14, 15) befindliche Entkopplungsschicht (16) aufweist.
18. Aufbau nach Anspruch 16 oder 17, gekennzeichnet durch ein als künstlicher Antiferromagnet wirkendes Biasschichtsystem (24) seines Magnetschichtsystems (23). 25
19. Aufbau nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Biasschichtsystem (24) eine zwischen zwei Magnetschichten (25, 27) befindliche Kopplungsschicht (26) aufweist und daß zwischen einer der Magnetschichten (25 oder 27) und der Kopplungsschicht (26) ein spinabhängig reflektierender Reflektorschichtteil (33, 34) angeordnet ist. 30
20. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetschichtsystem wenigstens eine einen anisotropen magnetoresistiven Effekt zeigende Magnetschicht aufweist.
21. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 20, gekennzeichnet durch eine Schichtdicke (d_s) eines reflektierenden Teils (5, 41a, 30a, 31a) des spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteils (7; 30, 31; 33, 34; 41) zwischen 0,15 und 1 nm. 35
22. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil durch ein Substrat oder mindestens eine auf einem Substrat erzeugte Schicht gebildet ist und daß das Magnetschichtsystem auf diesem Substrat bzw. dieser Substratschicht angeordnet ist. 40

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen



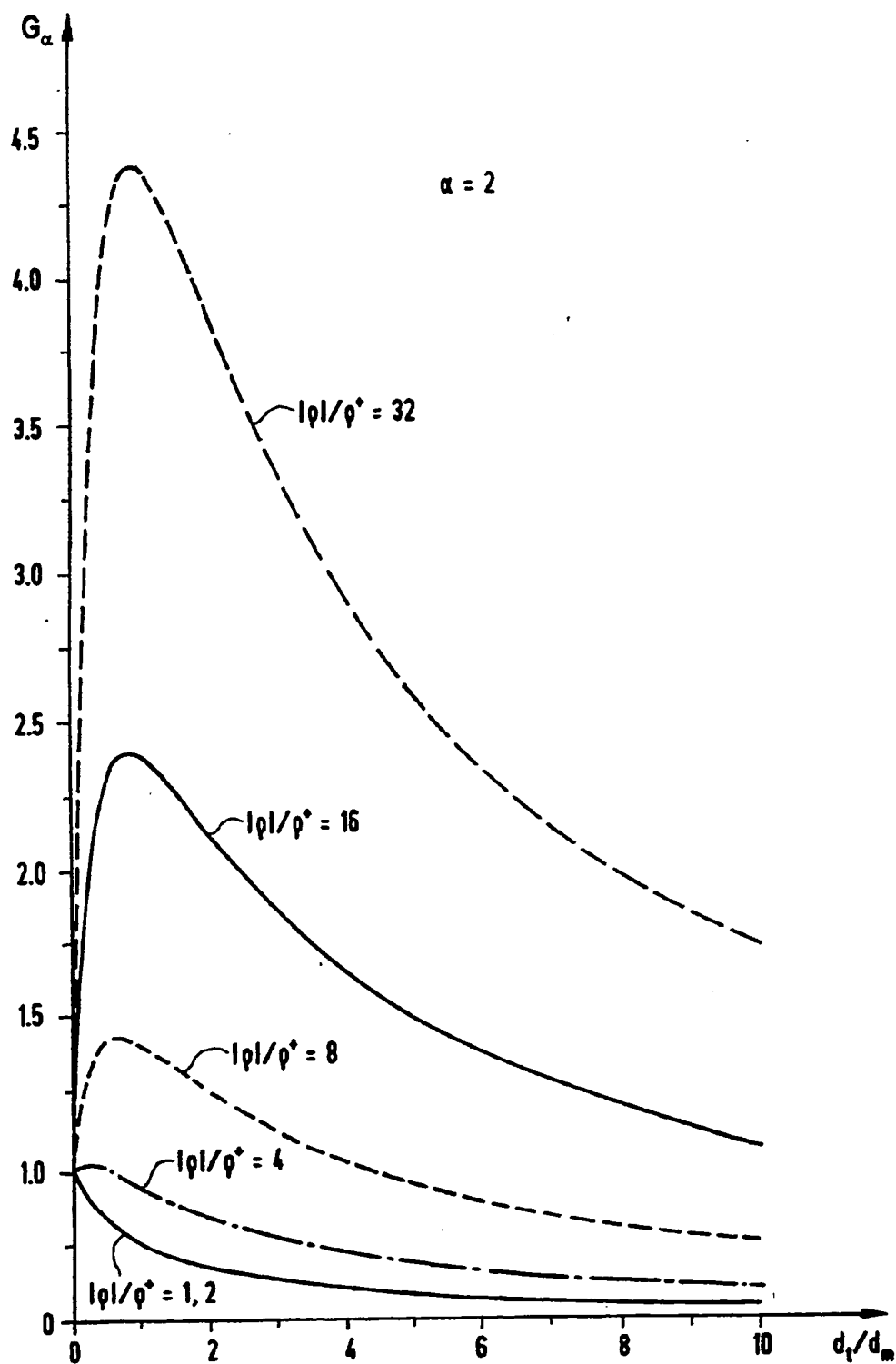


FIG 3

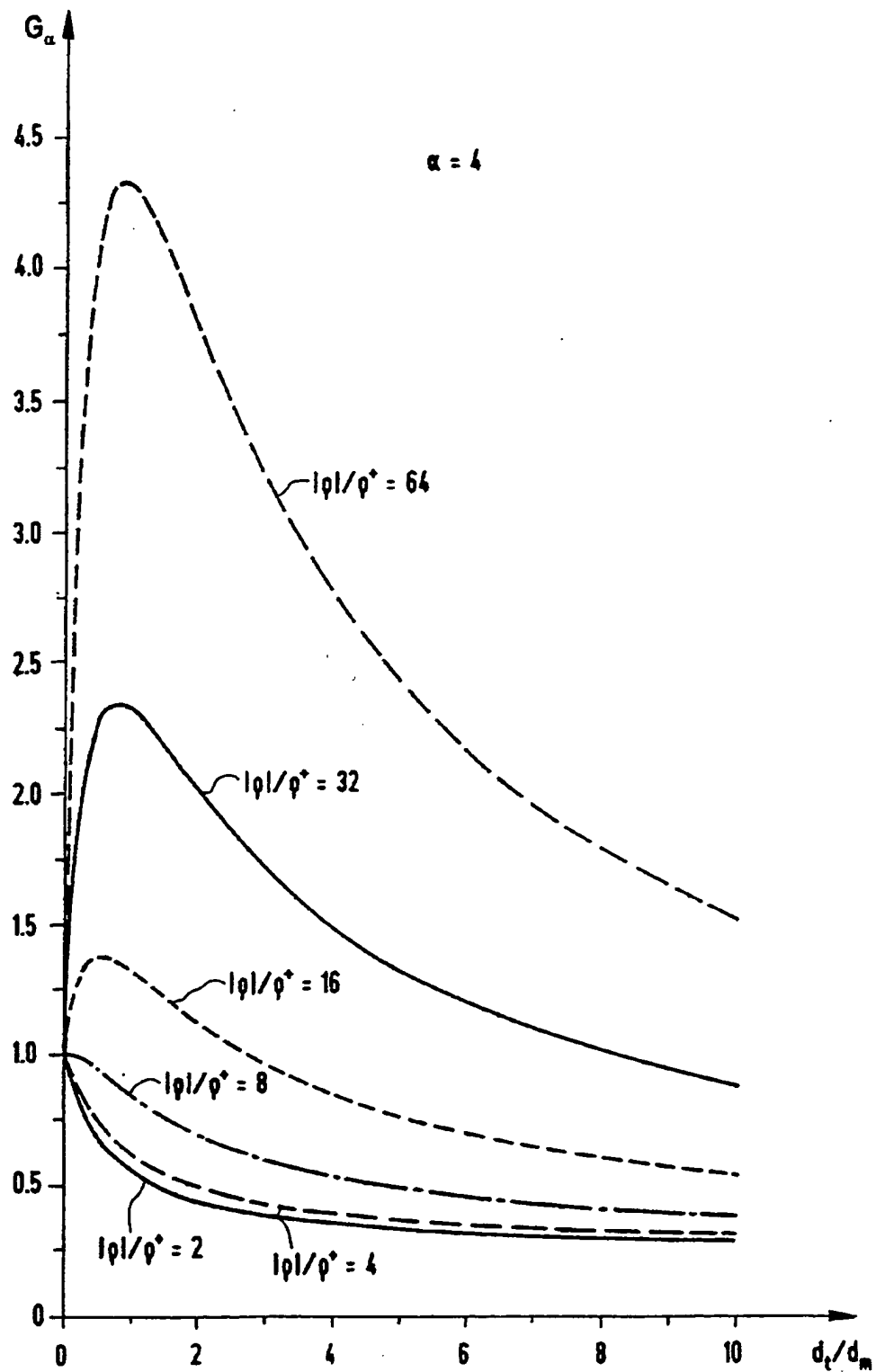


FIG 4

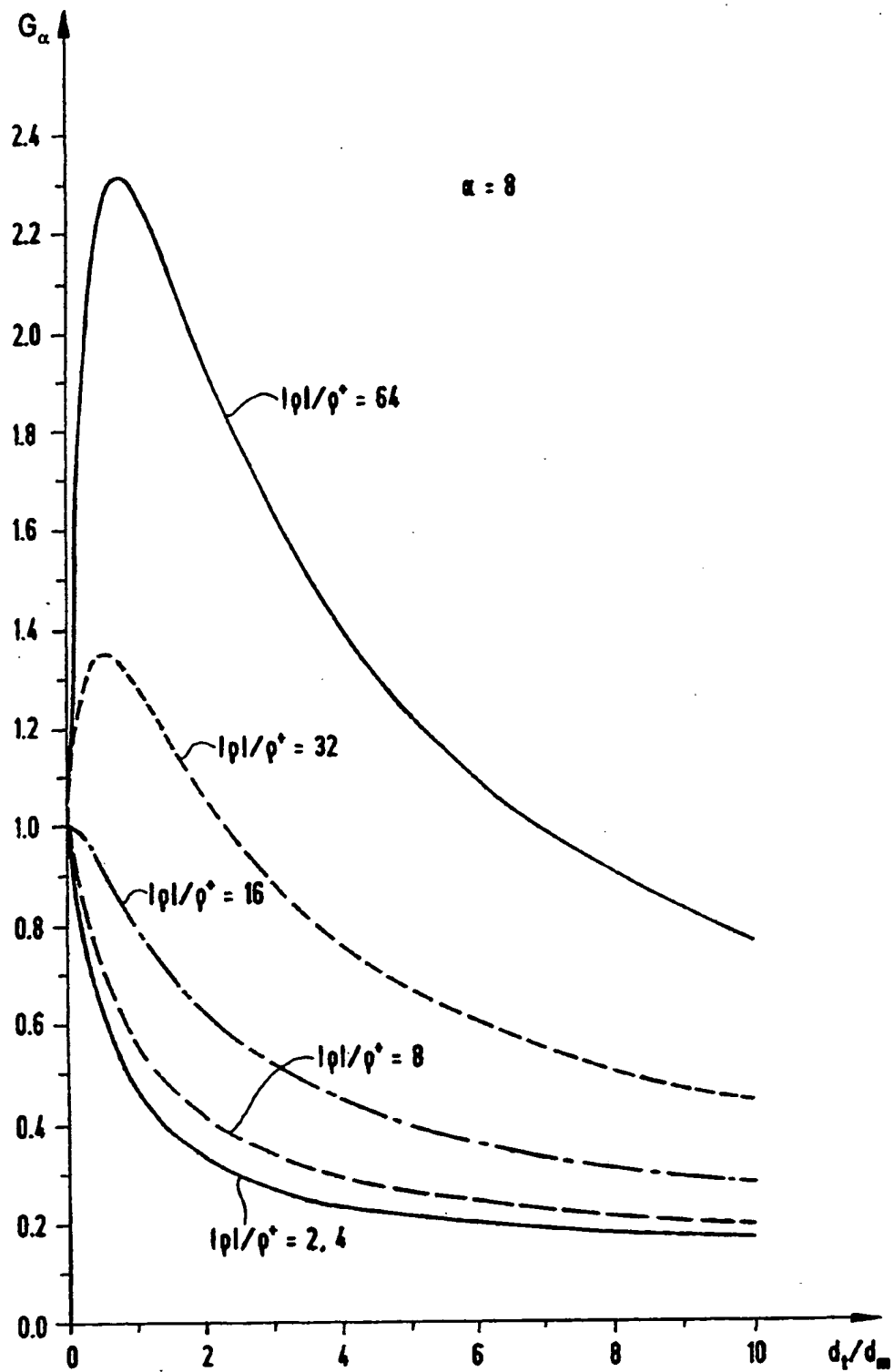


FIG 5

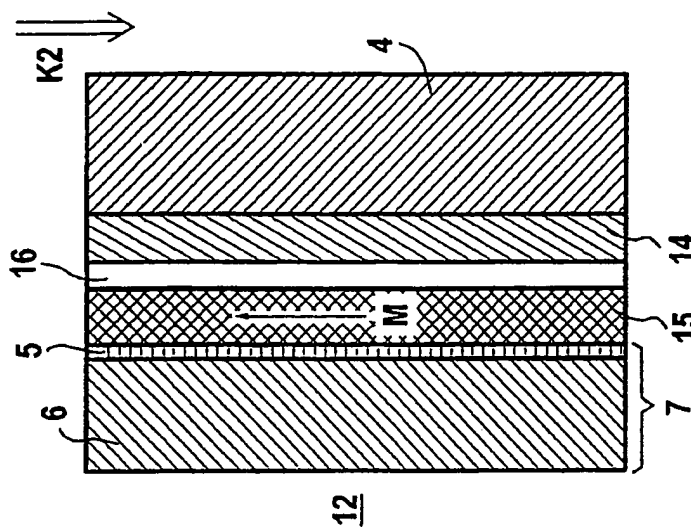


FIG 7

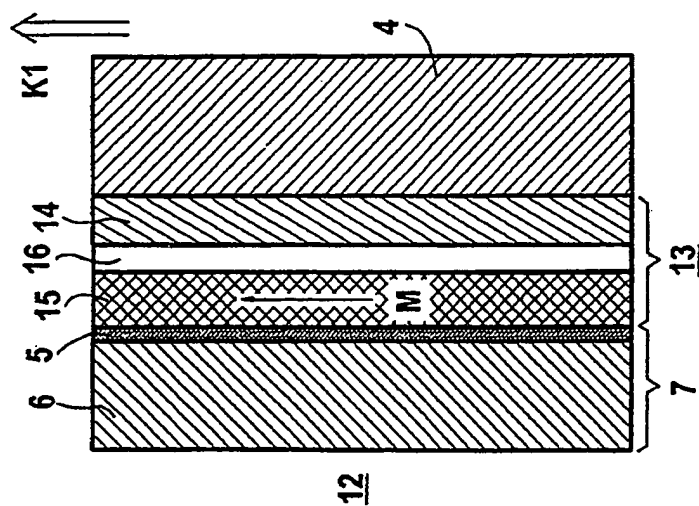


FIG 6

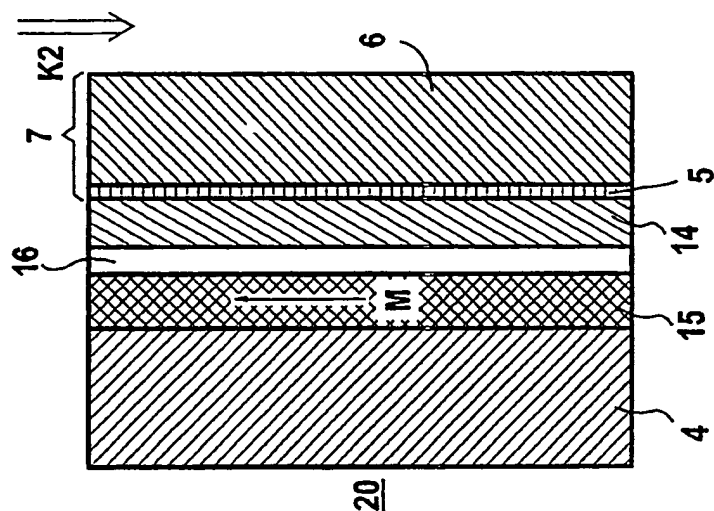


FIG 9

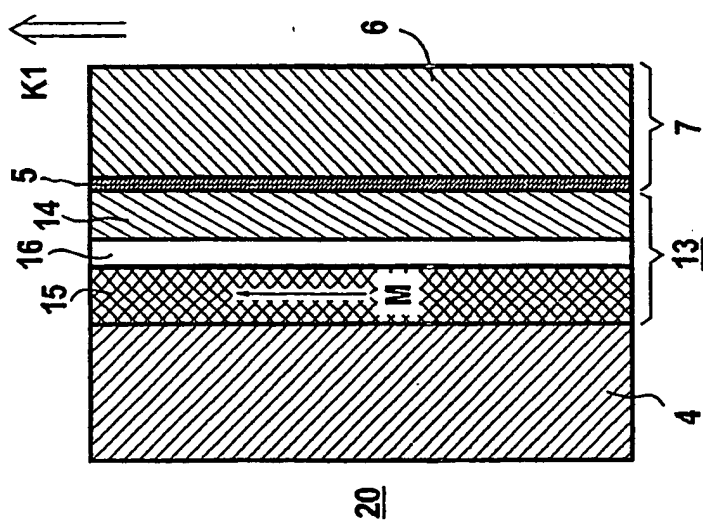
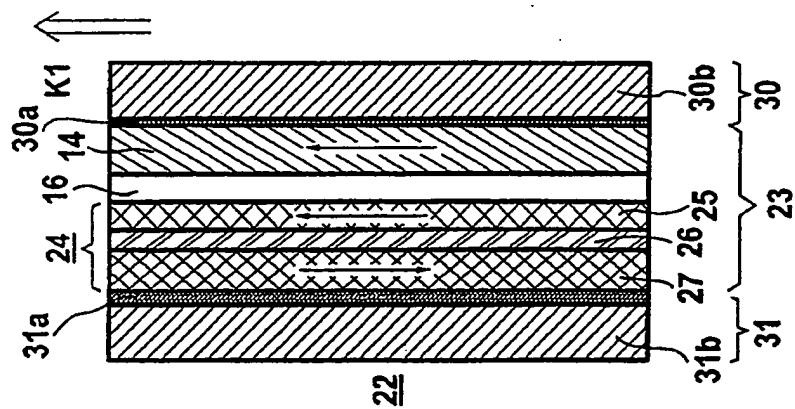
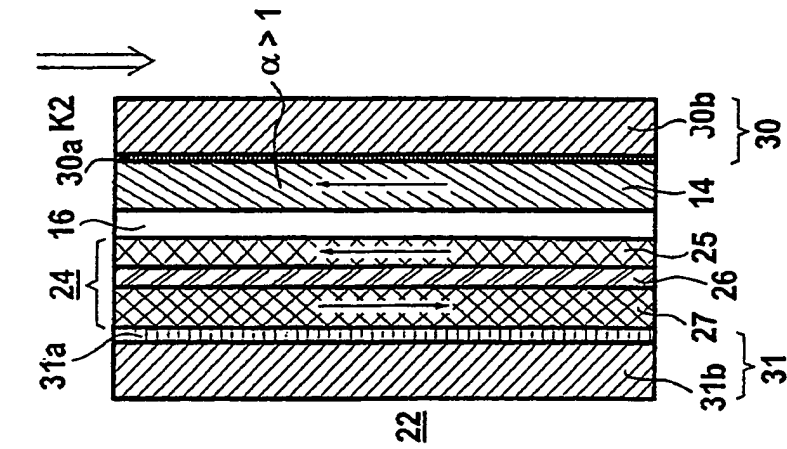


FIG 8



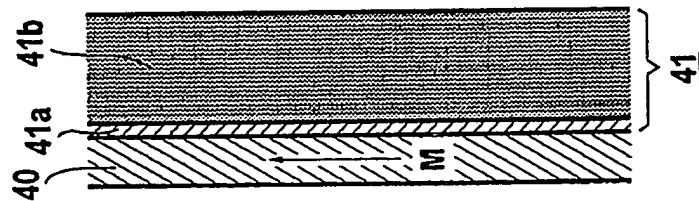


FIG 17

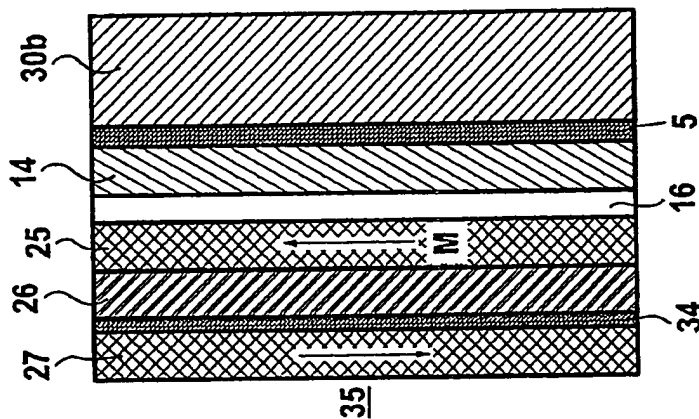


FIG 13

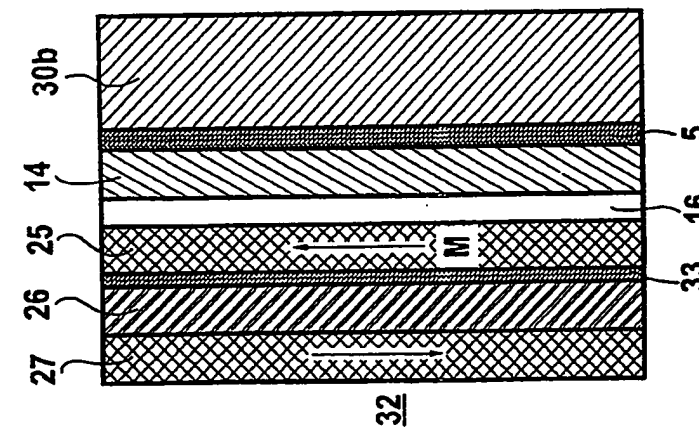


FIG 12

